

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-233502

(43)Date of publication of application : 27.08.1999

(51)Int.Cl.

H01L 21/31  
H01L 21/316

(21)Application number : 10-287829

(71)Applicant : LSI LOGIC CORP

(22)Date of filing : 09.10.1998

(72)Inventor : VALERIE Y SAKUHAREV

(30)Priority

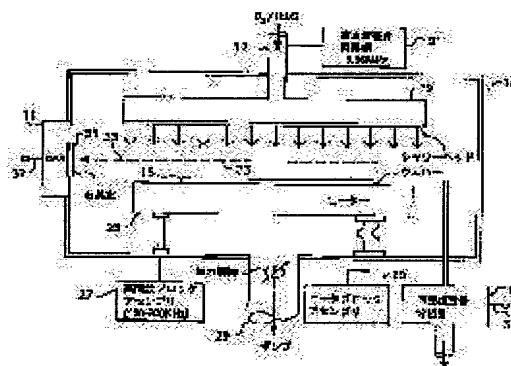
Priority number : 97 966637 Priority date : 10.11.1997 Priority country : US

## (54) APPARATUS AND METHOD OF FORMING OXIDE FILM ON SEMICONDUCTOR

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an apparatus and method of forming a silicon dioxide film on a semiconductor using an oxygen plasma and TEOS.

**SOLUTION:** This apparatus has means 9 and 11 for analyzing the plasma using S mass spectrometry and/or optical emission spectral analysis. The ratio of the number of cations of oxygen molecules present in the plasma to the number of cations of oxygen atoms is increased by adjusting selected operation parameters based on this plasma analysis. This decreases the concentrations of carbon atoms and hydrogen atoms contained in a formed oxide film. The oxide film that has high insulating properties is so specified as to contain carbon at a concentration not exceeding about 1 ppm and hydrogen at a concentration not exceeding about  $10^{13} \text{ cm}^{-3}$ . The bonding energies among carbon, oxygen, hydrogen and silicon atoms in TEOS are analyzed, necessary operation parameters in the plasma that contains oxygen and TEOS are indicated, and an oxide film having S excellent insulating properties is formed.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-233502

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月27日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 L 21/31  
21/316

識別記号

F I

H 0 1 L 21/31  
21/316

C  
X

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平10-287829

(22) 出願日 平成10年(1998)10月9日

(31) 優先権主張番号 9 6 6 6 3 7

(32) 優先日 1997年11月10日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 591007686

エルエスアイ ロジック コーポレーショ  
ン

LSI LOGIC CORPORATI  
ON

アメリカ合衆国、カリフォルニア州、ミル  
ピタス、マッカーシー ブルバード 1551

(72) 発明者 バレリー・ワイ・サクハレヴ

アメリカ合衆国カリフォルニア州95014,  
クーバーチノ、ガーデン・テラス・ドライ  
ブ 11476

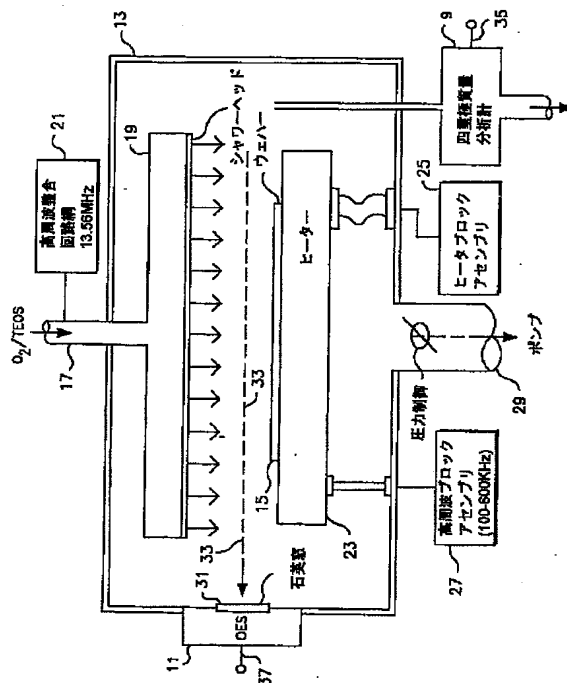
(74) 代理人 弁理士 社本 一夫 (外5名)

(54) 【発明の名称】 半導体上に酸化膜を形成する装置及び方法

(57) 【要約】

【課題】 酸素プラズマ及びTEOSを用いて半導体上に二酸化ケイ素膜を形成する装置及び方法を提供する。

【解決手段】 本装置は、質量分析法及び／又は光学的な発光分光分析法によってプラズマを分析する手段9、11を備えている。このプラズマの分析により、選択された作動パラメータを調節して、プラズマの中に存在する分子の酸素カチオンの原子の酸素カチオンに対する比を増大させる。これにより、形成された酸化膜の中に含まれる炭素及び水素の原子の濃度を減少させる。高い絶縁特性を有する酸化膜は、約1ppmを超えない濃度の炭素と、約 $10^{13} \text{ cm}^{-3}$ を超えない濃度の水素とを含むように特定される。TEOSの中の炭素、酸素、水素及びシリコンの原子の間の結合エネルギーを分析し、酸素及びTEOSを含むプラズマ中の所要作動パラメータを表示して、優れた絶縁特性を有する酸化膜を形成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 酸素及び T E O S の存在下でシリコン半導体の上に酸化膜を形成する装置であって、気体プラズマを形成する領域の回りに設けられ、R F 電力が供給されることに応答して前記領域に設けられた半導体に前記気体プラズマを接触させる電極を有している、反応チャンバと、前記チャンバに接続されていて、前記チャンバに入る酸素及び T E O S の流れを前記チャンバの中の選択された全圧に調節する、流入手段及び流出手段と、前記領域の中のプラズマの選択されたパラメータを検知して該検知されたパラメータを表す出力を発生し、前記領域の中の半導体の上に酸化膜を形成する間に、前記プラズマの中に存在する分子の酸素カチオンの原子の酸素カチオンに対する比を調節するように、前記チャンバに接続された分析手段とを備えること、を特徴とする装置。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の装置において、前記分析手段は、前記領域の中のプラズマの中の分子の酸素を検知して分子の酸素濃度を表す前記出力を発生し、これにより、前記比を調節するようになされた質量分析計を備えること、を特徴とする装置。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の装置において、前記分析手段は、前記領域の中のプラズマの原子の酸素を検知して原子の酸素濃度を表す前記出力を発生し、これにより、前記比を調節するようになされた光学的な発光分光分析計を備えること、を特徴とする装置。

【請求項 4】 半導体の上に酸化ケイ素を形成する方法であって、半導体に接触する酸素プラズマを形成するプラズマ形成工程と、前記プラズマの中の分子の酸素カチオン及び原子の酸素カチオンを検知する検知工程と、前記プラズマの選択されたパラメータを調節し、前記プラズマの中で検知された分子の酸素カチオンの原子の酸素カチオンに対する比を増大させる調節工程と、前記プラズマの中に T E O S を選択された間隔にわたって導入し、これにより、前記半導体の上に酸化ケイ素を形成する酸化ケイ素形成工程とを備えること、を特徴とする方法。

【請求項 5】 請求項 4 に記載の方法において、前記検知工程は、前記プラズマの中の分子の酸素カチオンの濃度を質量分析器で検知する工程を含むこと、を特徴とする方法。

【請求項 6】 請求項 4 に記載の方法において、前記検知工程は、前記プラズマの中の原子の酸素カチオンの濃度を光学的な発光分光分析計によって検知する工程を含むこと、を特徴とする方法。

【請求項 7】 酸化ケイ素を備える半導体デバイスであって、前記酸化ケイ素は、1 p p m を超えない濃度の炭

素と、 $10^{13} \text{ cm}^{-3}$  を超えない濃度の水素とを含むこと、を特徴とする半導体デバイス。

【請求項 8】 請求項 7 に記載の半導体デバイスにおいて、前記二酸化ケイ素は、T E O S を含む酸素プラズマの中で形成されること、を特徴とする半導体デバイス。

【請求項 9】 T E O S により形成される二酸化ケイ素の絶縁特性を分析する方法であって、フーリエ変換赤外線吸収分析法によって前記二酸化ケイ素を該二酸化ケイ素の中に含まれる炭素及び水素の濃度に関して分析する工程を備えること、を特徴とする方法。

【請求項 10】 請求項 9 に記載の方法において、1 p p m を超えない濃度の炭素を含む優れた絶縁特性に関して二酸化ケイ素を選択する工程を備えること、を特徴とする方法。

【請求項 11】 請求項 9 に記載の方法において、 $10^{13} \text{ cm}^{-3}$  を超えない濃度の水素を含む優れた絶縁特性に関して二酸化ケイ素を選択する工程を備えること、を特徴とする方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体の処理技術に関し、より詳細に言えば、プラズマ化学気相成長法を用いて半導体上に二酸化ケイ素層を最適に形成する技術に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 多層半導体構造は、一般的に、高い品質及び絶縁耐力を有する金属間誘電膜すなわち誘電層を必要とする。超大規模半導体集積回路すなわち超 L S I (U L S I) 用の誘電体堆積プロセスは、最初は、広範な経験的実験によって開発された。堆積する誘電膜の性質を該誘電膜の作製に関与するプロセスパラメータの関数としてより良好に予測できるようにして、種々のプロセスパラメータの調節作業を支援するために、プロセスシミュレーション装置及びコンピュータモデル化機構が発展してきた。従って、所要の特性を有する誘電膜を堆積させる動作範囲並びに作製パラメータの相互作用を予測するために、堆積プロセスを理解することが望ましい。

【0003】 酸素プラズマ放電によって促進される通常のテトラエトキシシラン (T E O S) 系の化学気相成長法は、二酸化ケイ素 ( $\text{SiO}_2$ ) 膜の堆積速度及び膜の品質が、反応室の構造、プロセスガスの流入速度、流入ガスの圧力、温度分布、プラズマ励起電力等の如きファクタに複雑に依存するという特徴を有している。

【0004】 U L S I 技術においてゲートの密度を増大させると、半導体作製の多くの工程において低温の処理操作を必要とする。しかしながら、この要件を T E O S からの  $\text{SiO}_2$  の堆積に適用した場合には、膜の品質を高くするというプロセス要件との矛盾が生ずる。S i O

膜の品質は、低温で堆積させた場合に膜に生ずる低い安定性及び不純物によって相殺される。そのような膜の不安定性は、成長する膜に含まれる高濃度の不純物によって生じ、そのような不純物は、上述の低温プロセスによって作製されるデバイスの信頼性を低下させる。上記不純物の発生源は、一般的に、膜形成を調節する化学反応である。現在理解されているように、 $\text{SiO}_2$ 膜の成長は、気相中の $\text{TEOS}$ からの活性前駆物質の生成を含む多数の均一及び不均一な反応並びにプロセスと、そのような前駆物質の表面サイトへの吸着とから生ずる結果である。例えば、炭素及び水素の除去に起因する残留エトキシ基の水酸基への転換は、プロセス全体の可能な制限工程であると考えられている。例えば、J. Electrochem. Soc. v. 142 (1995年)の2332ページ(D. Dobkin et al.)を参照されたい。多くの反応は、合理的に高い $\text{SiO}_2$ 堆積速度に到達するために高い温度を必要とする高い活性化エネルギーによって特徴づけられる。

【0005】 $\text{SiO}_2$ の低温堆積を行うある種の周知の技術は、テトラエトキシシラン系のプラズマ・エンハンス化学気相成長法(PETEOS又は $\text{TEOS}$  PECVD)、及び、常圧CVD(APCVD)オゾン/ $\text{TEOS}$ 蒸着法を含んでいる。上述の周知の技術は、気相中及び吸着層中の $\text{TEOS}$ 及びそのフラグメントと反応することのできる活性の酸素化学種を導入することに依存している。これら化学種は、上記反応において容易に堆積する中間化学種を生じさせ、その結果、低温で堆積する $\text{SiO}_2$ 層にシロキサン結合を形成する。

【0006】 $\text{TEOS}$  PECVDに関する別のモデルが発表されていて、原子酸素の生成が、 $\text{SiO}_2$ の堆積に対する速度限定プロセスであることを示唆している。J. Vac. Sci. Tech, B10 (1992年)の37ページ(G. B. Raupp et al.)を参照されたい。また、前駆物質の吸着が、速度制限ファクタであると考えられている。J. Appl. Phys., vol. 70 (1991年)の7137ページ(n. n. Islamaraja et al.)、及び、J. Vac. Sci. Tech, A8 (1990年)の1864ページ(J. E. Crowell et al.)を参照のこと。 $\text{TEOS}$  PECVDによって堆積された $\text{SiO}_2$ 膜の高い整合性は、別の堆積メカニズムによっても説明されている。この点に関しては、上掲のJ. Appl. Phys., vol. 70 (1991年)の7137ページ、及び、J. Vac. Sci. Tech., A11 (1993年)の2562ページ(P. J. Stuart et al.)を参照されたい。しかしながら、気相中及び成長する膜の表面における $\text{TEOS}$ の分解が、シロキサン結合の形成の原因になる活性の中間物質を形成するための唯一の方法であると

考えられる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題及び課題を解決するための手段】本発明によれば、酸素プラズマの中に存在する酸素原子並びに原子及び分子の酸素カチオンとの相互作用による $\text{TEOS}$ 及びその気体状のフラグメントからの炭素及び水素の除去の定量化学分析が、 $\text{TEOS}$ のフラグメントから炭素及び水素を除去すると共に堆積した酸化膜の高い品質を最適化するための $\text{TEOS}$ と酸素原子及び酸素カチオンとの反応の方法を示す。本発明に従って準備された $\text{TEOS}$ 前駆物質を用いるプラズマ・エンハンスCVD(PECVD)膜は、 $\text{TEOS}$ 酸化物の金属間誘電体としての使用を促進し、良好な収率及び相当な絶縁層分離を生じさせる効果を有している。このことは、現在使用されているフィールドの酸化物、トレンチ絶縁体及び側壁スペーサを、本発明に従って準備されたPECVD酸化膜で置き換えることを可能にする。

【0008】

【発明の実施の形態】通常のPECVDプロセスは、熱的に成長された酸化物の性質に近い性質を有する高品質の二酸化ケイ素膜を堆積させることができる。プラズマに起因するイオン衝撃によって、PECVDプロセスは、含水率が低く密度の高い酸化膜を生成する。例えば、約50の $\text{O}_2$ : $\text{TEOS}$ 流量比で通常の如く堆積された膜は、室内空気に暴露された後に、約5重量%の $\text{Si-OH}$ と、約2重量%の $\text{H}_2\text{O}$ とを含んでいる。 $\text{TEOS}$ 分子の一部である炭素は、通常の如く成長された酸化膜の中に比較的高い濃度(100-1,000 ppm)で存在する。通常の如く成長されたPECVD酸化物を堆積させるためのプロセスパラメータの代表的な値は以下の通りである。

【0009】圧力=0.5-3トル、

ヒータ温度=100-500°C、

高周波=13.56MHz、

低周波=100-600KHz、

高周波電力及び低周波電力=0.1-1KW、

$\text{O}_2$ 流量=3-10slm、

$\text{O}_2$ : $\text{TEOS}$ 流量比=10-10<sup>3</sup>。

【0010】例えば、HF(高周波)及びLF(低周波)の(バイアス)電力レベルを増大させることにより、イオンエネルギー束を増大させると、より高い密度の膜が生じ、この膜の中の $\text{Si-OH}$ 基及び $\text{C=O}$ 基の濃度が減少する。しかしながら、原子及び分子の酸素カチオンの組み合わせを含むイオン束の上述のような単純な増大は、中程度及び高いアスペクト比を有する特徴部に空隙を形成するという特徴を有する、望ましくないステップ・カバレージ(段差被覆性)を生じさせる。また、バイアス電力を増大させることによりウェーハ表面に衝突する酸素イオンのエネルギーを増大させると、成長する膜にプラズマによって生ずる損傷が多くなる。上述の条

件は、高温のアニーリング処理を受けた膜の電荷レベルを高める原因になる（例えば、 $600^{\circ}\text{C}$ でアニーリング処理を行った後は、 $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ であり、また、 $1,100^{\circ}\text{C}$ でアニーリング処理を行った後は、 $3 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ である）。

【0011】TEOSの中の種々の結合の解離を計算すると、これら結合をそれぞれの結合力に従ってSi-O > C-O > C-Cの順序で配列することが可能であった。しかしながら、TEOSの炭素除去は、C-C結合の開裂の後に生成する極めて安定なラジカルのために、C-O結合の開裂によって進行する。TEOSと酸素原子との間の反応過程におけるC-O結合の開裂を計算すると、 $\alpha$ （アルファ）-H原子が分離する場合に、約 $36 \text{ kcal/mol}$ である。この値は、TEOSのC-O結合のエネルギー（ $93-98 \text{ kcal/mol}$ ）よりもかなり小さい。二分子の酸素（dioxygen）カチオンがC-H結合に入ることによりTEOSから生成される可能性のあるカチオン及びラジカルに関するC-O結合の解離を計算すると、約 $22 \text{ kcal/mol}$ の結合解離の値に達し、この値は、検討した反応過程の中で最も低い過程エネルギーである。酸素カチオンにより水素を分離する結果として生ずるC-O結合の解離の同様な計算を行うと、約 $36 \text{ kcal/mol}$ の過程結合エネルギーが得られる。これらのエネルギーは、二分子の酸素カチオンがC-H結合に入る場合におけるよりもかなり大きい。TEOSのフラグメントの種々の結合の開裂エネルギーの上述のような化学的な定量計算の結果に基づくと、酸素原子及び酸素カチオンは共に、TEOSからの炭素及び水素の除去を大幅に促進し、また、原子の酸素カチオンは、二分子の酸素カチオンよりもかなり遅い速度でTEOSの分解を促進するものと考えられる。

【0012】上述の結果に基づくと、炭素及び水素だけの最小限の汚染で高品質で堆積する $\text{SiO}_2$ 膜が、他の酸素ラジカル化学種の濃度に比較して $\text{O}_2^+$ イオンの濃度が過剰であるという特徴を備えるプラズマ反応炉の中で、本発明に従って得ることができると考えられる。酸素プラズマの中の酸素ラジカルの濃度を選択されたプロセスパラメータ及び反応炉の形状の関数として監視することによって、プロセスパラメータを最適化することができる。PECVDのプロセスパラメータ及び反応炉の形状を本発明に従って最適化することにより、分子カチオン $\text{O}_2^+$ によってウエーハ表面に衝突する酸素カチオン束が富化され、これにより、成長する膜からの水素/炭素の除去効率が極めて高くなる（例えば、O原子及び $\text{O}^+$ カチオンで達成される除去効率の $10^3-10^5$ 倍である）。従って、少ないイオンエネルギー束を用いて、成長する酸化膜の中の水素/炭素の含有率を低くすることができ、これにより、ステップ・カバレッジが改善されると共に、プラズマにより生ずるウエーハの損傷が低減される。その結果生ずる酸化膜は、本発明に従って準備さ

れた高品質の膜の中に、 $1 \text{ ppm}$ よりも少ない炭素濃度及び $10^{16} \text{ cm}^{-3}$ よりも少ない水素濃度を有するのが理想的である例えば、図1に示す本発明の一実施例においては、（酸素及び他の元素の）安定な化学種は、オンライン質量分析装置（MS）9によって分析することができ、また、反応性の化学種は、本発明のTEOS PECVD処理方法を用いてウエーハ15上に酸化膜を堆積させるチャンバ13の中の光学的な発光分光分析装置（OES）11によって検知することができる。より詳細に言えば、酸素プラズマを用いて、 $\text{SiO}_2$ の堆積を支援し、また、MS9に加えてOES11を用いることにより、 $\text{O}_2^+$ 及び $\text{O}^+$ の如き帯電した化学種の量の検知及び調節を行うことができる。

【0013】気体のTEOS及び分子の酸素が、これら気体の調節された加圧供給源（図示せず）から、流入導管17及びガス分配マニホールドすなわち「シャワーヘッド」19を通して供給される。上記マニホールド19は、多数の開口を有していて、供給されたガスをウエーハ15の表面に十分に均一に分配するようにウエーハ15の上方に設けられている。上記マニホールドすなわち「シャワーヘッド」19は、通常のRF（高周波）発生装置及びインピーダンス整合回路網21から高周波エネルギー源（約 $13.56 \text{ MHz}$ ）が供給される電極として作用するように、導電材料から形成することができる。ウエーハ15は、サセプタ23の上に支持されており、該サセプタは、上記シャワーヘッド/電極19から隔置されていて、ウエーハ15と後に説明する動作条件にあるシャワーヘッド/電極19との間にプラズマを維持している。サセプタ23は、通常のヒータアセンブリ25の制御を受けて選択的に加熱され、膜を堆積させる間にウエーハ15を選択された温度に維持することができる。また、バイアスエネルギーの低周波源（約 $100-600 \text{ KHz}$ ）27をサセプタ/電極23に接続して、該サセプタ/電極23の上に支持されたウエーハ15の表面に衝突する酸素イオンのエネルギーを選択的に調節することができる。流出導管29に接続された真空ポンプ（図示せず）によって、チャンバ13の中に負圧を維持する。

【0014】ウエーハ15の上に酸化膜を形成する間に、本発明に従って反応チャンバ13の内部の作動パラメータを監視し、該作動パラメータを以下の例のパラメータの範囲に維持することができる。

【0015】例 1：  
チャンバ13の中の圧力：約 $0.5$  トール、  
ウエーハ15の温度：約 $300^{\circ}\text{C}$ 、  
RF（高周波）電力レベル21： $200 \text{ cm}$ のウエーハ15に関して約 $0.4$  キロワット、  
バイアス電力レベル27：約 $0.4$  キロワット、

ガス流量: TEOS; 約1 s c c m  
酸素; 約7 s l m.

【0016】例 2:

チャンバ13の中の圧力: 約1.5 トール、  
ウエーハ15の温度: 約350°C、  
RF (高周波) 電力レベル21: 200 cmのウエーハ15に関して約0.4 キロワット、  
バイアス電力レベル27: 約0.3 キロワット、  
ガス流量: TEOS; 約1 s c c m  
酸素; 約6 s l m.

【0017】例えば、上述の作動パラメータの範囲内にあるシャワーヘッド/電極19とサセプタ/電極23の上に支持されたウエーハ15との間に発生されて維持される気体プラズマは、元素及び分子の酸素イオン及びラジカル、並びに、分解したTEOSのフラグメントから成る多数の活性のすなわち帯電した化学種を含んでいる。プラズマの中の上記成分は、作動の間に、質量分析計9及び光学的な発光分光分析計11によって監視される。この発光分光分析計は、チャンバの壁部の光学窓31 (一般的には、石英から形成される) を通して、プラズマから発光スペクトル33を検知する。一実施例においては、Ametek Dycorのようなタイプの質量分析計9、及び、Silicon Fiber Detectorのようなタイプの光学的な発光分光分析計を用いて、プラズマの中に存在する中性の酸素ラジカル及び酸素イオンを表すそれぞれの出力35、37を発生させることができる。このようにすると、ウエーハ15上に酸化膜を形成する間に、全圧、RF電力、バイアス電力、ガス温度、並びに、酸素及びTEOSの流量比を本発明に従って選択的に調節して、高品質の膜を形成し、このように形成された膜の中の炭素及び水素の不純物組成を減少させることができる。より詳細に言えば、原子の酸素の濃度、並びに、SiO<sub>2</sub>の形成に関して活性な前駆物質であると共に酸素の存在下でのTEOSの分解によって形成される副生成物及び最終生成物である、TEOS分解フラグメントの濃度を総て、MS、電子スピン共鳴 (ESR) 又はFT-IR (フーリエ変換赤外線吸収分析) によって検知することができる。また、ダイオードレーザ及びレーザに誘起される蛍光技術並びにラングミュアプローブ及びマイクロ波干渉プローブを用いて上述の測定を行うこともできる。従って、出力35、37を用いて、上述のプロセスパラメータを通常の態様で制御し、上述のようにチャンバ13の中の膜形成条件を十分に最適化することができる。例えば、上述の監視作業が、酸素原子のカチオン (O<sup>+</sup>) の濃度が分子のカチオン (O<sub>2</sub><sup>+</sup>) の濃度よりもかなり高いことを示した場合には、ガスの全圧を上昇させる (例えば、0.5から1.5 トールに) か、あるいは、酸素の流量を減少させる (例えば、7 s l mから6 s l mに) ことによって、滞留時間を増大させることができる。これら

の変更は、原子の酸素の再結合速度を上昇させて

[O<sub>2</sub><sup>+</sup>] / [O<sup>+</sup>] の比を増大させ、これにより、成長する膜の中の炭素/水素の含有率を減少させる。上述の条件の下で、バイアス電力を低下させ、これにより、酸化膜が形成されるウエーハ15の表面に衝突する酸素カチオンの運動エネルギーの減少によって、欠陥の形成を減少させることができる。成長する膜の中の炭素/水素の含有率を監視するために、例えば、FT-IRを用いて対照実験を行うことができる。

10 【0018】本発明の別の実施例においては、例えば、上掲のJ. Appl. Phys. v. 81 (1997年) の569ページに記載されているような、ハイブリッド型のプラズマシミュレーションを行うことができる。トポロジーステップ (topology step) の如き表面特徴部の周囲における膜の堆積は、同時に生ずる側壁に対する不均一反応及び上記特徴部に沿う試薬の拡散によって説明することができる。TEOSからの二酸化ケイ素の堆積速度は、界面化学、試薬濃度、圧力、並びに、反応炉の中の及びウエーハ表面における温度分布に依存する。上述の温度分布は、主として、反応炉の中の流体力学及び輸送現象、並びに、反応炉の中の気体混合物の化学反応によって決定される。上述の反応炉のモデルの特性を用いて、反応チャンバ13の中の作動パラメータを確立し、表面特徴部の周囲にSiO<sub>2</sub>膜を整合させる際の作動条件の変化の効果に起因するステップ・カバレッジの予測性を向上させることができる。上記結果を用いて、プロセスパラメータ及び反応チャンバの構造を最適化し、これにより、欠陥をほとんど生ずることなく高い堆積速度を達成することができる。20 例えば、異なる組み合わせのプラズマパラメータに関して実行される酸素原子及び酸素カチオン (図1のチャンバ13と同様な放電チャンバの中で形成される) の密度のシミュレーションは、以下の結果を生じさせる。同じガス温度 (300 K) に関して、酸素の流量 (約3 s l m)、ピークからピークまでの電圧強度 (100 v) を有する高周波 (13.56 MHz)、及び、ゼロの低周波電力であり、唯一の違いが全圧に関するものである2つの場合に関して、以下の結果を示した。

30 【0019】0.5 トールの圧力Pに関して、[O<sub>2</sub><sup>+</sup>] = 1.0 × 10<sup>10</sup> cm<sup>-3</sup>; [O<sup>+</sup>] = 9 × 10<sup>15</sup> cm<sup>-3</sup>; [O] = 7.5 × 10<sup>15</sup> cm<sup>-3</sup> であり、1.0 トールの圧力Pに関して、[O<sub>2</sub><sup>+</sup>] = 2.5 × 10<sup>13</sup> cm<sup>-3</sup>; [O<sup>+</sup>] = 9 × 10<sup>13</sup> cm<sup>-3</sup>; [O] = 3.4 × 10<sup>15</sup> cm<sup>-3</sup> である。

【0020】両方の場合において、電極ギャップは2 cmである。上の結果は、上記特定の組み合わせのプロセスパラメータに関して、チャンバの中の全圧を2だけ減少させると、[O<sub>2</sub><sup>+</sup>] / [O<sup>+</sup>] の比が10<sup>-6</sup> から0.28まで増大し、本発明に従って形成されるSiO<sub>2</sub>膜の品質を十分に改善する。

【0021】ここで図2を参照すると、本発明の一実施例に従って成長する酸化膜を形成し該酸化膜を調節するためのプロセスの流れ図が示されている。反応チャンバ13は、酸素流量を調節し、ウエーハ15の温度を設定し、チャンバ13の中の圧力を減少させて、上述のパラメータの範囲内にする（ステップ41）ことによって、選択に応じて調節される。RF電力を供給してシャワーヘッド／電極19とサセプタ23の上のウエーハ15との間にプラズマを形成する（ステップ43）と共に、質量分析計9及び／又は光学的な発光分光分析計11を用いてプラズマを診断して（ステップ45）、上述のように作動パラメータを調節し、これにより、分子の酸素カチオンの原子の酸素カチオンに対する比を最大にする（ $O_2^+/O^+$ が最大）。次に、選択された堆積間隔（ステップ49）に関して、TEOSガスをプラズマに導入し（ステップ47）、これにより、ウエーハ15の上に二酸化ケイ素膜を形成する。次に、TEOSガスを止め（ステップ51）、例えば、RF電力を停止することによってプラズマを消滅させ（ステップ53）、その後、酸素も止める（ステップ55）。

【0022】FT-IR59を用いてその結果生じた酸化膜を炭素及び水素の不純物に関して分析する（ステップ57）と共に、上述のように反応チャンバ13の中の作動パラメータを再度確立して変更し、これにより、本発明に従ってその後準備される酸化膜の中の炭素及び水素の不純物を減少させることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

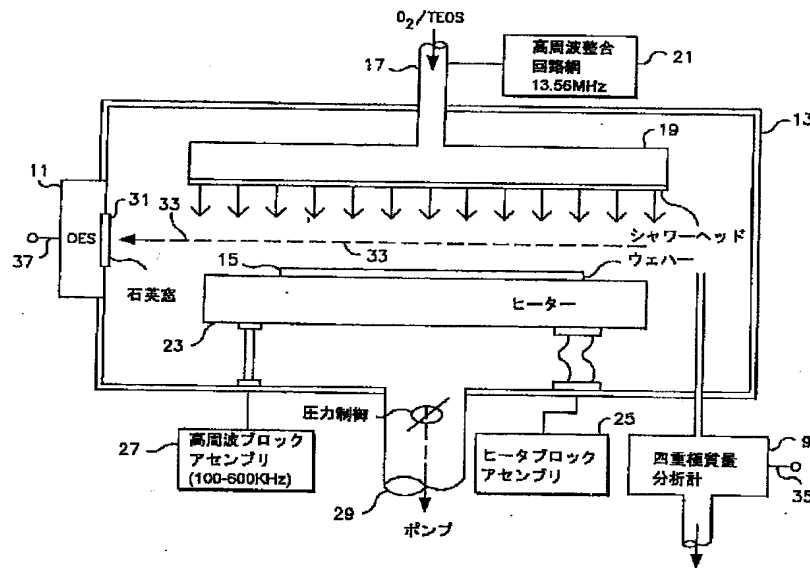
【図1】本発明の一実施例の図解的なブロック図である。

【図2】本発明の一実施例によるプロセスを示す流れ図である。

#### 【符号の説明】

- 9 質量分析計
- 11 光学的な発光分光分析計
- 13 反応チャンバ（反応炉）
- 15 ウエーハ（半導体基板）
- 17 流入導管（流入手段）
- 19 マニホールド（電極）
- 23 サセプタ（電極）
- 29 流出導管（流出手段）

【図1】



【図2】

